

ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»  
Гірничо-металургійний факультет  
Кафедра металургії та організації виробництва

«Допущено до захисту»  
Гарант ОПП



Юрій РЕКОВ

## КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня магістра

за підсумками виконання  
освітньо-професійної програми  
«Аглодоменне виробництво»  
за спеціальністю 136 Металургія

**на тему «Вдосконалення технології виробництва агломерату  
шляхом використання раціонального розподілу палива в  
агломераційній шихті»**

Керівник роботи

Христина МАЛІЙ

Наставник від бази  
практики

Олег ІСЕНКО

*Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень.  
Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають  
посилання на відповідне джерело*

Здобувач

Юлія ЄСІНА

Підсумкова оцінка за атестацію			
--------------------------------	--	--	--

Голова ЕК

Олександр ФОМЕНКО

Запоріжжя 2026

ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»

Факультет	<u>гірничо-металургійний</u>
Кафедра	<u>металургії та організації виробництва</u>
Ступінь вищої освіти	<u>магістр</u>
Спеціальність	<u>136 Металургія</u>
ОПП	<u>Аглодоменне виробництво</u>

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Гарант ОПП

Юрій РЕКОВ

08 грудня 2025 р.

**ЗАВДАННЯ  
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА**

Єсіна Юлія Павлівна

(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)

1. Тема роботи «Вдосконалення технології виробництва агломерату шляхом використання раціонального розподілу палива в агломераційній шихті»  
керівник роботи Малій Христина Василівна, доцент, канд. техн. наук.  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)  
затверджені наказом Університету №239/10.09.2025 від 10.09.2025 р.
2. Термін подання роботи: 24 січня 2026 р.
3. Вихідні дані до роботи Навчальна, методична література з спеціальних дисциплін та дипломування, науково-дослідницькі роботи з тематики агломераційного виробництва, науково-технічні літературні джерела, технологічні інструкції, дані ПАТ «Запоріжсталь».
4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань) Анотація. Зміст. Вступ. Розділ 1. Аналітичні дослідження щодо підвищення ефективності використання твердого палива в агломераційній шихті. Розділ 2. Основна частина. Статистичний аналіз даних роботи агломераційних машин з використанням різного складу шихт. Визначення взаємозв'язків впливу крупності, складу, витрати та розподілу палива в шихті на основні технологічні показники процесу агломерації. Розробка пропозицій щодо підвищення техніко-економічних показників аглопроцесу за рахунок раціонального використання твердого палива. Розділ 3 . Охорона праці. Розділ 4. Розрахунки економічної доцільності запропонованих рішень. Висновки. Перелік використаних джерел. Додатки.
5. Перелік графічного (демонстраційного) матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): 6 слайдів основної частини, 1 слайд економічна частина.

6. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи, що їх стосуються

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта
Розділ 1	Малій Х.В., доцент
Розділ 2	Малій Х.В., доцент
Розділ 3	Малій Х.В., доцент
Розділ 4	Малій Х.В., доцент

7. Дата видачі завдання 08.12.2025 р

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи
1	Розділ 1. Теоретичний розділ (Аналітично-пошуковий)	08.12.2025-27.12.2025
2	Розділ 2. Технологічний розділ	27.12.2025-10.01.2026
3	Розділ 3. Охорона праці	10.01.2026-14.01.2026
4	Розділ 4. Економічний розділ	14.01.2026-17.01.2026
5	Висновки, перелік посилань, вступ, зміст, автореферат	17.01.2026-19.01.2026
6	Подання завершеної роботи. Перевірка на академічний плагіат	19.01.2026-22.01.2026
7	Остаточне оформлення роботи, презентаційного матеріалу	22.01.2026-24.01.2026
8	Рецензування завершеної роботи. Захист	26.01.2026-31.01.2026

Здобувач

Юлія ЄСІНА

Керівник роботи

Христина МАЛІЙ

## АНОТАЦІЯ

*Єсіна Ю.П.* Вдосконалення технології виробництва агломерату шляхом використання раціонального розподілу палива в агломераційній шихті - Кваліфікаційна праця на правах рукопису.

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 136 Металургія ОПП «Аглодоменне виробництво» - ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА», Запоріжжя, 2026.

*Об'єкт дослідження:* підвищення ефективності використання твердого палива в агломераційному процесі на ПАТ «Запоріжсталь» для вдосконалення технології виробництва агломерату.

*Предмет дослідження:* підвищення ефективності використання твердого палива в агломераційному процесі за допомогою часткової заміни коксового дріб'язку вугіллям кам'яним марки «ДГ», а також встановлення впливу хімічного та гранулометричного складу шихти на розподіл твердого палива в агломераційній шихті.

Кваліфікаційна робота магістра присвячена науковому обґрунтуванню та практичному дослідженню ефективності використання енергетичного вугілля марки «ДГ» в якості часткової заміни коксового дріб'язку в агломераційному процесі на ПАТ «Запоріжсталь». Актуальність дослідження зумовлена необхідністю зниження собівартості агломерату в аглодоменному виробництві.

У першому розділі виконано аналіз ефективності використання палива і розглядаються результати аналітичних досліджень щодо підвищення ефективності використання твердого палива в агломераційному процесі за допомогою часткової заміни коксового дріб'язку вугіллям кам'яним марки «ДГ», а також встановлення впливу

хімічного та гранулометричного складу шихти на розподіл твердого палива і хімічних компонентів по горизонтах шару та вивчення особливості фізико-хімічних процесів при протіканні екзо- й ендотермічних реакцій у шарі залізородних матеріалів залежно від його гранулометричної неоднорідності.

У другому розділі проведено аналіз роботи агломераційного цеху ПАТ «Запоріжсталь» за 20... рік. За результатами проведених досліджень було встановлено, що згідно до ТУ У 23.1–00190443–011:2025 за 20... рік паливо тверде для агломерації - коксовий дріб'язок - фракції  $0 \div 10$ мм із вмістом зольності ( $A^d$ ) не перевищив показник ...%, вміст води ( $W_t^r$ ) не перевищив ...% (не бракувальний показник ) і що напівкокс, отриманий із вугілля марки «ДГ», можна вважати ефективним частковим заміником коксового дріб'язку.

У третьому розділі розроблені заходи з охорони праці та промислової безпеки при виконанні робіт по виготовленню агломерату на агломераційних машинах та підготовці проб, випробуванні та прийманні агломерату на бункерах ДЦ.

Четвертий розділ присвячений економічному обґрунтуванню часткової заміни коксового дріб'язку енергетичним вугіллям марки «ДГ».

Апробація результатів роботи. Єсіна Ю.П. Бойко М.М. Аналіз шляхів ефективності використання палива за рахунок раціонального розподілу його в агломераційній шихті. Start in Science: студентська науково-технічна конференція: збірник тез і анотацій наукових доповідей. – Одеса, Олді+, 2025 с. 55-57. <https://dspace.mipolytech.education/items/6e2cb261-1e14-4ed9-a6a8-8c2c1c9543c8>

АГЛОМЕРАЦІЙНИЙ ПРОЦЕС, ПАЛИВО, КОКСОВИЙ ДРІБ'ЯЗОК, ЕКОНОМІЯ, ЕНЕРГЕТИЧНЕ ВУГІЛЛЯ

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ	8
ВСТУП	9
1 АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ПАЛИВА ПРИ АГЛОМЕРАЦІЇ	10
1.1 Сучасні тенденції розвитку використання енергетичного палива в агломераційному процесі	10
1.2 Теоретичні основи процесу спікання агломерату і його залежність від технічного, гранулометричного складів твердого палива	13
Висновки до розділу 1	17
2 ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПАРАМЕТРІВ ПАЛИВА НА АГЛОМЕРАЦІЙНИЙ ПРОЦЕС	18
2.1 Техніко-економічна характеристика агломераційного цеху ПАТ «Запоріжсталь»	18
2.2 Технічна характеристика і вибір додаткового обладнання для подрібнення та транспортування енергетичного вугілля	28
2.3 Аналіз якості сировинних матеріалів та палива твердого для агломераційного процесу	36
2.4 Дослідження підвищення ефективності виробництва агломерату шляхом часткової заміни коксового дріб'язку вугіллям кам'яним марки «ДГ»	39
Висновки до розділу 2	45
3 ОХОРОНА ПРАЦІ	46
3.1 Вимоги безпеки при виробництві агломерату на агломераційних машинах та підготовці проб, випробуванні та прийманні агломерату на бункерах доменного цеху	46

3.2	Небезпечні та шкідливі виробничі фактори на робочому місці	49
3.3	Засоби індивідуального захисту на робочому місці	50
	Висновки до розділу 3	54
4	ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАМІНИ ПАЛИВА	
4.1	Аналіз споживання палива основними металургійними галузями	55
4.2	Розрахунок економічної ефективності використання вугілля ДГ	56
	Висновки до розділу 4	58
	ВИСНОВКИ	59
	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	61
	ДОДАТОК А. Якісні показники агломерату за 2025р.	63
	ДОДАТОК Б. Якісні показники палива твердого для агломераційного процесу (середні дані помісячно за 2025р.)	64
	ДОДАТОК В. Питоме виробництво агломераційних машин за 2025р	65
	ДОДАТОК Д. Результати дослідження коксового дріб'язку та енергетичного вугілля марки ДГ (довгопламенне газове) на виділення летких речовин зі зразка досліджуваного палива у температурному діапазоні 300-600°C	66

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

АЦ — агломераційний цех

ДЦ — доменний цех

ТУ — технічні умови

ТІ — технологічна інструкція

ДСТУ — державний стандарт України

ДГ – довгопламенне газове вугілля

ЖРС — залізорудна сировина

ЗІЗ — засоби індивідуального захисту

$W_t^r$  — волога робочого стану палива

$A^d$  — зольність на сухий стан

$S^d$  — вміст сірки на сухий стан

$V^{daf}$  — вихід летких речовин на сухий беззольний стан

## ВСТУП

Агломерація залишається основним методом окускування залізорудної сировини доменної плавки в Україні. Основне завдання агломерації – забезпечення високої продуктивності та економічності агломераційного переділу та збереження якості агломерату за металургійними властивостями. Формування якості агломерату є комплексною задачею і здійснюється на кожній стадії його виробництва.

Процес агломерації спочатку виник як метод окускування руд кольорових металів і базувався на використанні тепла від екзотермічних реакцій окиснення сульфідами. Для впровадження в чорну металургію потрібне було спеціальне джерело тепла — подрібнене тверде паливо, успішним типом якого для цієї мети були відсів коксу або коксовий дріб'язок. Поточний масштаб агломерації, а також розвиток інших споживачів малих класів коксу призвели до нестачі коксового дріб'язку.

Одним із можливих перспективних напрямків у вирішенні проблеми агломераційного палива є розробка технології виробництва нових типів агломераційного твердого палива і встановлення впливу хімічного і гранулометричного складу шихти на розподіл твердого палива в агломераційній шихті. Узагальнення результатів вивчення дослідження процесу агломерації дозволяє сформулювати основні вимоги, які мають бути виконані заміниками коксового дріб'язку, які суттєво відрізняються за своєю природою і мають значний вплив на техніко-економічні показники агломераційних установок.

# 1 АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ПАЛИВА ПРИ АГЛОМЕРАЦІЇ

## 1.1 Сучасні тенденції розвитку використання енергетичного палива в агломераційному процесі

У даній кваліфікаційній роботі розглядаються результати аналітичних досліджень щодо підвищення ефективності використання твердого палива в агломераційному процесі за допомогою часткової заміни коксового дріб'язку (рис. 1.1) вугіллям кам'яним марки ДГ (рис. 1.2), а також встановлення впливу хімічного та гранулометричного складу шихти на розподіл твердого палива і хімічних компонентів по горизонтах шару та вивчення особливості фізико-хімічних процесів при протіканні екзо- й ендотермічних реакцій у шарі залізородних матеріалів залежно від його гранулометричної неоднорідності.

Горіння частинки природного твердого палива складніше, ніж горіння частинок коксового дріб'язку через додаткові процеси, що супроводжуються вивільненням і горінням продуктів термічного розкладу вугілля. Під час термічної обробки твердого палива вивільнення летких речовин має струменевий характер, у деяких випадках це призводить до видалення дрібних частинок у реакційний об'єм. Під час періоду займання, особливо дрібних частинок, концентрація летких речовин недостатня для їх займання, і леткі речовини заповнюють об'єм між частинками. Внаслідок цього одна частинка летких частинок займається разом із коксовим залишком частинок вугілля, а інша, не встигаючи взаємодіяти з окислювальними компонентами газової фази, залишає реакційний об'єм. Смолисті речовини, які виділяються таким чином, конденсуються поза зоною горіння шару. Остання обставина є причиною, що ускладнює використання кам'яного та бурого вугілля в агломерації

залізних руд, оскільки осадження смол на лопатках ротора ексгаустера може спричинити його вібрацію [1].

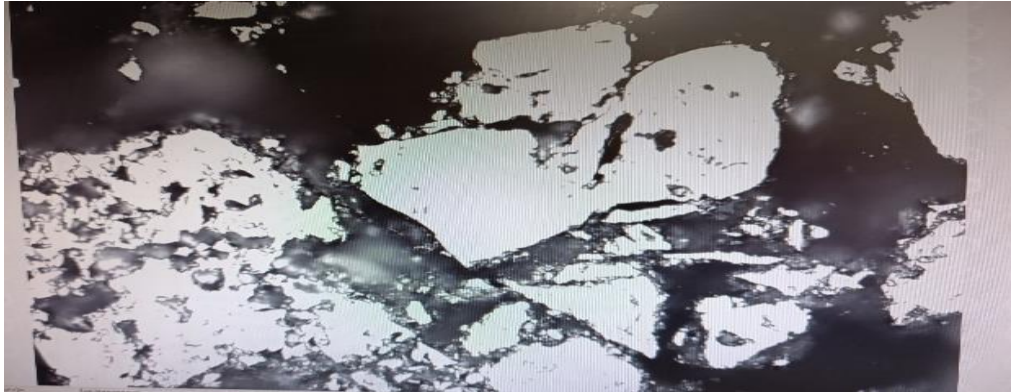


Рисунок 1.1 - Петрографія коксового дріб'язку

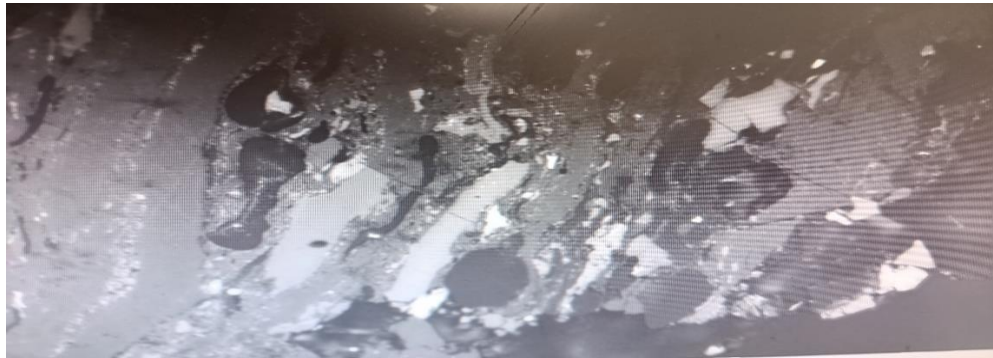


Рисунок 1.2 - Петрографія вугілля кам'яного марки ДГ

Загалом, вплив реактивності вуглецевої речовини палива та газодинамічних умов у шарі призводить до найшвидшого процесу горіння при використанні слабоспікаючого вугілля та коксового дріб'язку, що в першому випадку зумовлено високою реактивністю палива, що значно перевищує гальмівний ефект процесу конденсації смоли у шарі, а в другому випадку — сприятливими газодинамічними умовами процесу з високою реакційною здатністю коксу.

При спалюванні антрациту та зрілого вугілля (тощих, слабоспікаючих) кількість звичайної смоли мало залежить від крупності вихідного палива, але при подрібненні вона трохи зменшується. На

більш молодому вугіллі зазначена закономірність значно вираженіша. Можна припустити, що смола, що конденсується в холодних частинах шару, має час брати участь у реакціях горіння. Підвищення температурного рівня внаслідок збагачення повітря киснем до 30% сприяє більш повному горінню в шарі та зниженню виходу смоли в систему уловлювання. Підвищення концентрації кисню до 45% дає невеликий додатковий ефект.

Щоб визначити допустиму межу заміни коксового дріб'язку кам'яним вугіллям із підвищеним виходом смол, проводилися експерименти зі спалювання сумішей коксового дріб'язку з різними типами заміників. Результати цієї серії експериментів свідчать, що для обмеження процесу розділення смоли на рівні, який відбувається при роботі з антрацитом, допустима кількість заміника коксового дріб'язку не повинна перевищувати 25% при використанні смоляного вугілля газового типу і бути збільшена до 85% при переході до більш зрілого вугілля типу тощого.

Детальні дослідження дозволили зробити висновки про можливість широкого використання кам'яного вугілля в процесі агломерації: тривале використання дрібного вугілля навпіл із коксовим дріб'язком не призводить до утворення смолистих покладів, трубопроводи та ексгаустер залишаються чистими. Водночас їхній абразивний знос через агломераційний пил, зокрема частинки коксового дріб'язку, також зменшується. Завдяки підвищеній реакційній здатності та високому темпу згоряння, тверде вугілля забезпечує кращий температурний і тепловий режим агломерації порівняно з коксовим дріб'язком, що дозволяє зменшити витрати вуглецю [1].

Тривалість спікання агломерату залишається приблизно на одному рівні при використанні різних сортів палива, тому вибір одного чи іншого типу палива не має суттєвого впливу на продуктивність при правильному визначенні необхідної якщо необхідний потік палива для спікання правильно визначений.

## **1.2 Теоретичні основи процесу спікання агломерату і його залежність від технічного, гранулометричного складів твердого палива**

Як паливо в агломераційному процесі в основному використовуються коксовий дріб'язок, відокремлюваний від металургійного, крупнокускового коксу безпосередньо на коксохімічному заводі, або ж в доменному цеху металургійного заводу, і антрацитний штиб. На агломераційні фабрики поступає кокс крупністю 20—0 мм або 40—0 мм.

Вибір крупності палива визначається перш за все умовами забезпечення рівномірної швидкості горіння в обмеженій за розмірами зоні спікання, а також умовами збереження або навіть деякого збільшення газопроникності шихти після добавки до неї палива.

Дослідження залежності зміни газопроникності шихти від крупності коксика показує, що для руд крупністю 5—0 і 3—0 мм найбільша газопроникність шихти відповідає добавці коксика крупністю 5—0 мм; для руди крупністю 2—0 мм газопроникність шихти зростає із збільшенням крупності коксика до 10 мм.

Для створення концентрованої, вузько обмеженої зони горіння не можна допускати широкого діапазону крупності палива. Широкий діапазон крупності не може забезпечити рівномірного горіння окремих частинок — дрібні частинки спалюються набагато раніше за крупних, а це неминуче приведе до розширення зони горіння, нагрівання шихти виходить нерівним і спікання поганим. Найкращі показники процесу досягаються при крупності палива 3—0 мм.

На агломераційних фабриках коксовий дріб'язок і антрацитний штиб дроблять на чотирьохвалкових дробарках до крупності 3—0 мм. Останнім часом намітилося прагнення відсівати від дробленого палива

пилуватої фракції крупність 0,5—0 мм, які заковчуються в рудні матеріали, не згоряють і цим підвищують витрату палива.

В порівняльних умовах коксовий дріб'язок має найвищі значення температури займання порівняно з можливими заміниками; в більшій ступені до нього наближається антрацит, який широко використовується в агломераційному виробництві. В дійсних умовах агломераційного процесу паливо займається не в атмосфері повітря, а в потоці продуктів згорання займального горну або в потоці відходящих димових газів із зони спікання. В обох останніх випадках вміст вільного кисню в газовій фазі значно нижче 21%: при нормальній витраті палива на агломераційний процес ця величина не перевищує 4-8% и знижується при збільшеній витраті палива до 1,5 – 3%.

Дослідження по визначенню залежності температури займання коксової дрібниці та антрацитового штибу від вмісту кисню в газовій фазі, які змінювалися в процесі експерименту від 5 до 30%, показали, що зниження вмісту кисню в газовій фазі з 21 до 8 і 6% призводить до підвищення температури займання коксової дрібниці з 737 до 812 і 840°С [1].

Показники процесу спікання агломерату і його якість в значній мірі залежать від технічного, гранулометричного складів твердого палива і способу його введення в шихту. Для спікання тонкоподрібненого концентратів коксове паливо повинне містити мінімальну кількість частинок як крупніше 3 мм, так і дрібніше 0,5 мм. У разі застосування палива з підвищеною реакційною здатністю необхідний верхня межа крупності може збільшуватися до 5 мм, при використанні палива зі зниженою реакційною здатністю - відповідно зменшуватися до 2... 3 мм [3]. Технологічна цінність агломераційного палива повинна оцінюватися співвідношенням в ньому фракцій: 0...0,5, 0,5...1, 0,1,0...2,0, 2,0 ...3,0, 3,0... 5,0 і більше 5,0 мм. Для коксового дріб'язку зазначеного діапазону крупності (0,05 - 8 мм) зі збільшенням розміру частки закономірно

зменшується її питома поверхня, загальна і відкрита пористість з одночасним збільшенням уявної щільності і закритою пористості. Зміна гранулометричного складу окомкованної аглошихти і розподіл палива по її класах при використанні окремих фракцій коксового дріб'язку призводять до помітних змін вмісту вуглецю в класах шихти. Найменша концентрація вуглецю виявлена в грудках аглошихти крупніше 5 мм. Максимальна неоднорідність шихти, з точки зору розподілу вуглецю по її класів, спостерігається при використанні палива крупністю 0,4...1 мм. Застосування менш і більш великих фракцій коксового дріб'язку характеризується більш рівномірним розподілом вуглецю за класами шихти, проте для дрібного палива фракції 0 - 0,4 мм це супроводжується найбільшою неоднорідністю шихти по гранулометричному складу (авторами не вказується порівнюваний діапазон крупності). Для палива фракцій 1... 2,5 і 2,5... 3 мм має місце висока однорідність шихти як по ситова складу, так і за розподілом в ній вуглецю [4]. Аналіз результатів дослідження [2] показує, що основним носієм вуглецю окомкованої шихти при використанні коксового дріб'язку розміром 0 - 0,5, 0-5 і 1 -2 мм є фракція шихти 0-3 мм, що містить до 79% всього внесеного палива. Збільшення крупності коксового дріб'язку до 3 - 3,5 мм призводить до того, що вона майже вся розподіляється у фракції шихти більше 3 мм, що навіть зумовлено підвищення вмісту вуглецю у фракції шихти 3-5 мм до 9,5%.

Отже, головним чинником, що впливає на розподіл твердого палива в шихті різної крупності, є його гранулометричний склад. Порівняльний аналіз заочування коксового дріб'язку різної крупності при огрудкування різних шихт показав, що дрібне паливо, незалежно від його виду, заочується в 2...3 рази більше, ніж паливо фракції 0,5...1,0 мм і в 3... 5 разів більше, ніж паливо фракції 1...2 і 2...3 мм. Крім того, відзначається підвищення рівномірності розподілу палива по класах. Крупність палива визначає багато в чому температурно-теплові умови процесу спікання

аглошихти. Крупність палива істотно впливає на динаміку аглопроцесу: якщо на паливі фракції менше 0,5 мм швидкість фільтрації повітря монотонно зростає в ході спікання, досягаючи до кінця процесу значень, в кілька разів перевищують її величини в початковий момент спікання, то в міру укрупнення палива (наприклад, на фракції 1...2,5 мм) спостерігається відносно тривалий період стабілізації швидкості фільтрації повітря через аглошар (більше половини часу спікання).

Якісну й енергоефективну теплову обробку шару сипучого матеріалу на машинах конвеєрного типу можна реалізувати за допомогою керування процесами сегрегації часток у шарі та підготовки твердого палива. Важливе значення для забезпечення бажаного й рівномірного температурного поля у шарі матеріалу мають його газодинамічні характеристики, які обумовлюють ширину й швидкість переміщення високотемпературної зони [5]. Таким чином, необхідність забезпечення оптимального розподілу палива з урахуванням скорочення його питомої витрати й мінімізації перепаду тиску у шарі матеріалу під час його теплової обробки для стабілізації теплового режиму спікання є важливою науково-практичною проблемою. Скорочення загального споживання твердого палива технологічними агрегатами окрім зниження собівартості продукції дозволить зменшити обсяги шкідливих викидів в атмосферу.

Для досягнення поставленої мети необхідно встановити вплив гранулометричного складу шихти на розподіл твердого палива й хімічних компонентів по горизонтах шару та вивчити особливості фізико-хімічних процесів при протіканні екзо- й ендотермічних реакцій у шарі залізородних матеріалів залежно від його гранулометричної неоднорідності.

Відомо, що так як тверді частинки палива мають низькі комкуючі властивості, подача частини палива наприкінці процесу гранулювання має значний позитивний вплив на гранулометричний склад огрудкованої агломераційної шихти. Частинки палива розташовуються на поверхні

гранул, що прискорює горіння палива, підвищує вертикальну швидкість спікання та покращує якість агломерату [6].

Важливим показником з точки зору придатності палива для агломераційного процесу є температура його запалювання. Надмірне зниження її розтягує зону горіння і знижує концентрацію тепла в цій зоні. Результатом цього є зниження температурного рівня процесу з відповідним погіршенням фізичних і механічних властивостей спеку [7]. За подібних умов коксовий дріб'язок має найвищі значення точки спалаху порівняно з можливими заміниками. У більшій мірі до нього наближається антрацит, який широко використовується у агломераційному виробництві.

Точне дозування палива в шихті є однією з основних умов отримання високоякісного агломерату. Як збільшення, так і зменшення швидкості потоку твердого палива у шихті порівняно з оптимальним знижує продуктивність машин і може призвести до зниження якості агломерату. Це досягається шляхом перевірки правильної роботи дозувальних блоків відповідно до інструкцій щодо налаштування автоматичних дозаторів за графіком та одночасної роботи щонайменше двох автодозаторів у шихтовому відділенні.

Вміст вуглецю в шихті залежить від складу шихтових матеріалів, і для кожного типу шихти визначається з умови отримання агломерату з встановленими характеристиками міцності при максимальній продуктивності агломераційних машин.

## **Висновки до розділу 1**

Проаналізовано можливість широкого використання кам'яного вугілля в агломераційному процесі як часткової заміни коксового дріб'язку. На основі літературних даних проаналізовано залежність процесу спікання агломерату від технічного та гранулометричного складу палива.

## **3 ОХОРОНА ПРАЦІ**

### **3.1 Вимоги безпеки при виробництві агломерату на агломераційних машинах та підготовці проб, випробуванні та прийманні агломерату на бункерах доменного цеху**

Виробництво агломерату на агломераційних машинах та підготовка проб, випробування та приймання агломерату на бункерах доменного цеху має здійснюватися відповідно до вимог законодавчих, нормативно-правових актів з питань охорони праці, нормативних документів та інструкцій з охорони праці.

Усі технологічні операції з виробництва агломерату працівникам здійснювати з дотриманням вимог безпеки:

- інструкції з охорони праці № 0.01 для виконання загальних виробничих робіт в ПАТ «Запоріжсталь»; - інструкції з охорони праці № 0.06 про порядок застосування бірочної системи у ПАТ «Запоріжсталь»;
- інструкції з охорони праці № 0.14 для виконання робіт з прибирання сміття, шлаку, снігу на залізничних коліях, автомобільних дорогах, тротуарах та благоустрою території комбінату;
- інструкції з охорони праці № 0.20 по експлуатації та ремонту об'єктів газового господарства;
- інструкції з охорони праці № 0.30 для осіб з I кваліфікаційною групою з електробезпеки;
- інструкції з охорони праці № 0.51 Про надання домедичної допомоги;
- інструкції з охорони праці № 01.01 для агломератника агломераційного цеху;
- інструкції з охорони праці № 01.10 для бригадира бункерів агломераційного цеху;

- інструкції з охорони праці № 01.11 для бункерувальника агломераційного цеху;
- інструкції з охорони праці № 01.12 для машиніста шихтоподачі агломераційного цеху;
- інструкції з охорони праці № 01.13 для дозувальника агломераційного цеху;
- інструкції з охорони праці № 01.14 для дозувальника гарячого повертання агломераційного цеху;
- Закону України «Про охорону навколишнього природного середовища»;
- Кодексу законів про працю України;
- Основи законодавства України про загальнообов'язкове державне соціальне страхування;
- Кардинальних правил з охорони праці та промислової безпеки ПАТ «Запоріжсталь»;
- Положення про систему управління охороною праці у ПАТ «Запоріжсталь»;
- Порядку розслідування та обліку нещасних випадків, професійних захворювань та аварій на виробництві (зі змінами), затвердженого постановою КМУ №337 від 17.04.2019 р.;
- НПАОП 0.00–1.71–13 Правила охорони праці під час роботи з інструментом та пристроями;
- НПАОП 0.00–4.12–05 «Типове положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці»;
- НПАОП 27.0–3.01–08 «Норми безплатної видачі спеціального одягу, спеціального взуття та інших засобів індивідуального захисту працівникам металургійної»;
- НПАОП 27.0–7.04–21 Мінімальні вимоги щодо безпеки та здоров'я на роботі в металургійній промисловості;
- НПАОП 27.1–1.06–08 «Правила охорони праці під час ремонту

устаткування на підприємствах чорної металургії;

- НПАОП 27.1–1.09–09 «Правила охорони праці у газовому господарстві підприємств чорної металургії»;

- НПАОП 27.5–1.13–79 «Правила безпеки на залізничному транспорті підприємств системи Мінчормету СРСР»;

- НПАОП 27.5–6.01–79 ОСТ 14.55–79 «Бірочна система на підприємствах чорної металургії. Основні положення. Порядок застосування»;

- ДСН 3.3.6.039–99 «Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації»;

- ДСН 3.3.6.042–99 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень»;

- ПБ №0.01.9.4 Відповідно до наказу Мінприроди від 21.12.2012 № 671 «Технологічних нормативів допустимих викидів забруднюючих речовин з обладнання (установки) для випалу та агломерації металеві руди (включаючи сульфідну руду)» викиди забруднюючих речовин у місці їх виходу з обладнання (безпосередньо за джерелом утворення викидів), не повинні перевищувати технологічних нормативів.

- При виробництві офлюсованого агломерату концентрації шкідливих хімічних речовин у повітрі робочої зони не повинні перевищувати ГДК згідно ГОСТ 12.1.005–88 «Загальні санітарно-гігієнічні вимоги до повітря робочої зони» довідниковий).

- Параметри виробничого мікроклімату мають відповідати вимогам ДСН 3.3.6.042-99 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень». Рівні шуму на робочих місцях повинні відповідати вимогам ДСН 3.3.6.037-99 «Санітарні норми шуму, ультразвуку та інфразвуку».

- Рівні вібрації на робочих місцях мають відповідати вимогам ДСН 3.3.6.039-99 «Державні санітарні норми загальної та локальної вібрації».

- До роботи з виробництва агломерату на агломераційних машинах та підготовці проб, випробування та приймання агломерату на бункерах доменного цеху допускаються особи, які досягли 18 років і пройшли медичний огляд та визнані придатними для виконання даних робіт, які пройшли навчання, інструктажі та перевірку знань відповідно з НПАОП 0.00 – 4.12-05 «Типове положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці».

### **3.2 Небезпечні та шкідливі виробничі фактори на робочому місці**

Перелік небезпечних і шкідливих виробничих факторів, які впливають на працівників (агломератників) на робочому місці:

- рухомі машини, механізми;
- рухомі частини виробничого обладнання;
- конструкції які руйнуються;
- підвищена і знижена температура повітря робочої зони;
- підвищена температура поверхні обладнання;
- електричний струм;
- гострі кромки, задирки і шорсткість на поверхнях заготовок, інструментів та обладнання;
- підвищена запиленість повітря робочої зони;
- підвищений рівень шуму на робочому місці;
- підвищений рівень вібрації;
- шкідливі хімічні сполуки (оксид вуглецю, аміак);
- відкрите полум'я пальника;
- інфрачервоне випромінювання.

### 3.3 Засоби індивідуального захисту на робочому місці

Агломератник згідно затверджених норм видачі ЗІЗ працівникам агломераційного цеху безкоштовно забезпечується наступними видами спецодягу, спецвзуття та інших засобів індивідуального захисту [20]. Перелік ЗІЗ і порядок їх застосування агломератником, наведено в табл. 3.1.

При виконанні всіх доручених робіт (операцій) агломератник повинен використовувати:

Костюм для захисту від загальних виробничих забруднень і механічних впливів з вогнестійких тканин і матеріалів для повсякденного застосування, захищає від загальновиробничих забруднень і механічний впливів і повинен застосовуватися працівником:

- безпосередньо на робочих місцях;
- при виконанні робіт, пов'язаних з прибиранням і благоустроєм території.

Перед використанням Костюм для захисту від загальних виробничих забруднень і механічних впливів з вогнестійких тканин і матеріалів необхідно перевірити його на предмет цілісності, наявності бруду і зносу, оскільки ці чинники можуть бути причиною зниження захисних властивостей. При пошкодженні тканини, костюм не підлягає подальшому використанню без його ремонту і відновлення захисних властивостей.

Черевики шкіряні для захисту від підвищених температур, іскор і бризок розплавленого металу призначені для захисту ніг від механічних впливів, загальновиробничих забруднень:

- при пересуванні по території комбінату до місця виконання робіт;
- безпосередньо на робочих місцях;
- при виконанні робіт, пов'язаних з прибиранням і благоустроєм території.

Таблиця 3.1 - Перелік ЗІЗ для агломератника

№ п/п	Найменування ЗІЗ	Термін носіння (міс.)	Застосування
1	Костюм для захисту від загальних виробничих забруднень і механічних впливів з вогнестійких тканин і матеріалів	12*	Постійно під час роботи
2	Костюм для захисту від знижених температур, загальних виробничих забруднень і механічних впливів з вогнестійких тканин і матеріалів	36	У холодну пору року
3	Рукавиці брезентові з брезентовим надолонником	10 дн.	Постійно під час роботи
4	Краги спілкові	1	Постійно під час роботи
5	Черевики шкіряні для захисту від підвищених температур, іскор і бризок розплавленого металу	12	Постійно під час роботи
6	Каска захисна червоного кольору	36	Постійно під час роботи
7	Підшоломник літній	24	У теплу пору року
8	Підшоломник зимовий	24	У холодну пору року
9	Підшоломник термостійкий літній	48	При впливі високих температур (Очищення решіток бункерів провалу від гарячого агломерату при надлишку палива)
10	Окуляри захисні відкриті	До зн.	Під час роботи, і при знаходженні поза виробничими приміщеннями
11	Окуляри захисні закриті	До зн.	Під час роботи в умовах високої запиленості
12	Респіратор газопилозахисний	До зн.	Під час роботи, постійно
13	Жилет сигнальний	12	Під час роботи на з/д шляхах, а також при виконанні робіт по суміжній професії «стропальник»
14	Вкладиші протишумові	До зн.	Під час роботи в місцях з підвищеним рівнем шуму
15	Щиток захисний	До зн.	Під час роботи з гарячим агломератом (без окулярів, з капелюхом з повсті)
16	Окуляри захисні зі світлофільтрами	До зн.	При регулюванні пальників запального горна

Примітка:\* - видається три комплекти спецодягу [14]

Використовувати черевики необхідно тільки відповідного розміру. Перед використанням необхідно уважно оглянути взуття. Особливу увагу слід звернути на стан рядків, знос малюнка протектора і стану з'єднання верху черевик з підошвою. Для того щоб взутися необхідно повністю розстебнути кріпильну систему. Носити пошкоджені черевики заборонено.

Правила застосування спецодягу, спецвзуття та інших ЗІЗ:

Каска захисна червоного кольору застосовується для запобігання або зменшення впливу на голову небезпечних (механічного впливу) і шкідливих виробничих факторів, повинна застосовуватися працівником:

- при пересуванні по території комбінату до місця виконання робіт;
- безпосередньо на робочих місцях;
- при виконанні робіт, пов'язаних з прибиранням і благоустроєм закріпленої території.

Перед використанням каски захисної червоного кольору необхідно перевірити термін її придатності. Робоча поверхня (корпус) каски захисної не повинна мати тріщин, сколів, вибоїн, слідів термічного впливу і деформацій. Каску необхідно відрегулювати у відповідність з розміром голови, вона не повинна надто туго стискати поверхню голови або бути вільною. При необхідності (в зимовий час) під каску захисну одягається підшоломник трикотажний або теплий.

Вкладиші протишумові призначені для захисту слуху від підвищеного рівня шуму на робочому місці, повинні застосовуватися працівником в умовах періодичного впливу шуму з рівнем понад 80 дБ.

Окуляри захисні призначені для захисту очей від випадкового механічного впливу твердих частинок, осколків, а також від бризок рідин, повинні застосовуватися працівником при виконанні робіт на робочих місцях, при виконанні робіт, пов'язаних з прибиранням і благоустроєм закріпленої території, а також при пересуванні по території комбінату до місця виконання робіт через виробничі відділення і ділянки.

Агломератник повинен дотримуватися правил експлуатації, догляду та зберігання захисних окулярів:

- захисні окуляри слід утримувати в чистоті і оберігати від механічних пошкоджень.

- якщо захисні окуляри не використовуються, їх необхідно зберігати в спеціальному чохлі (футлярі), щоб уникнути пошкодження поверхонь лінз;

- захисні окуляри необхідно застосовувати спільно зі спеціальним шнурком, який кріпиться до дужок окулярів і дозволяє завжди тримати їх при собі, а також запобіжить пошкодження очок при їх випадковому падінні;

- лінзи захисних окулярів при забрудненні необхідно промивати водою (температура якої не вище + 50 ° C) або мильним розчином, а також можна протерти спеціальною серветкою з мікрофібри. Також для очищення захисних окулярів можна скористатися станцією для очищення захисних окулярів. При використанні серветки необхідно переконається, що її матеріал не містить піску, твердих частинок і будь-яких інших абразивів, які можуть подряпати поверхню лінз захисних окулярів.

При експлуатації захисних окулярів забороняється:

- для протирання лінз окулярів застосовувати ацетон, толуол, гас та інші;

- класти окуляри лінзами вниз на тверду поверхню;

- прикладати до окулярів значні механічні зусилля;

- не допускається падіння очок з висоти більше 0,5 м на тверду поверхню.

Рукавиці брезентові з брезентовим надолонником повинні використовуватися для захисту рук від механічного впливу при виконанні всіх робіт (операцій), пов'язаних з технологічним процесом в частині що стосується відбору проб сировини а також інших доручених робіт.

Респіратор газопилозахисний повинен використовуватися при виконанні робіт (операцій) пов'язаних з прибиранням і благоустроєм

території, при виконанні фарбувальних робіт, а також інші види робіт, при яких можливе виділення пилу і інших пилоподібних частинок.

Респіратор має бути чистим, без пошкоджень. Кріпильні гумки повинні бути міцно прикріплені до респіратора. Елемент кріплення до перенісся не повинен виступати з тіла респіратора. Для того щоб надіти респіратор необхідно:

1) тримаючи респіратор однією рукою за елемент кріплення до перенісся, а іншою рукою за кріпильні гумки надіти респіратор.

2) стиснути елемент кріплення на переніссі і зафіксувати респіратор, щоб регульовальні гумки проходили над вушними раковинами і з'єднувалися на потилиці.

3) попередньо перевірити, зробивши кілька вдихів і видихів. Респіратор має щільно прилягати до поверхні особи по всьому периметру.

Додатково в холодну пору року для захисту від знижених температур і несприятливих метеорологічних умов агломератник повинен застосовувати: костюм для захисту від знижених температур, загальних виробничих забруднень і механічних впливів з вогнестійких тканин і матеріалів, підшоломник зимовий, плащ для захисту від води.

Агломератник зобов'язаний застосовувати перераховані вище засоби індивідуального захисту. Застосування ЗІЗ повинно забезпечувати максимальну безпеку, що досягається дотриманням інструкцій із застосування засобів індивідуального захисту [20].

### **Висновки до розділу 3**

Неухильне виконання вимог охорони праці, технологічної дисципліни та правил безпеки, застосування ЗІЗ працівниками агломераційного цеху дозволяє максимально знизити ризики на виробництві, мінімізувати випадки професійних захворювань і травматизму, забезпечити безперебійну цілодобову роботу АЦ.

## ВИСНОВКИ

У ході виконання кваліфікаційної роботи досліджена ефективність використання твердого палива в агломераційному процесі за допомогою часткової заміни коксового дріб'язку вугіллям кам'яним марки ДГ, а також встановлення впливу хімічного та гранулометричного складу шихти на розподіл твердого палива і хімічних компонентів по горизонтах шару.

За аналізами літературних джерел встановлена можливість широкого використання кам'яного вугілля в агломераційному процесі як часткової заміни коксового дріб'язку, проаналізована залежність процесу спікання агломерату від технічного та гранулометричного складу палива.

За результатами проведених аналітичних досліджень встановлено:

- коливальність хімічного складу агломерату не вплинула на якість - за 20...р. не було 2-го сорту агломерату, годна продукція з першого пред'явлення за 20....р. ~.....%.

- якісні показники палива для агломераційного процесу за 20... рік не перевищили процентний вміст, який згідно з ТУ У 23.1-00190443-011:2025 є бракувальним показником -  $A^d \leq \dots\%$ ,  $W_t^r \leq \dots\%$ .

- спостерігається залежність виходу летких речовин в твердому паливі від висоти шару палива, напівкокс, отриманий із довгопламенного вугілля, можна вважати ефективним частковим заміником коксового дріб'язку.

- виробнича собівартість 1т агломерату зменшується в проектному періоді в порівнянні з базовим на ....грн/т. завдяки частковому заміненню коксового дріб'язку вугіллям кам'яним марки «ДГ» в агломераційному процесі, період окупності витрат на додаткове обладнання з урахуванням всіх витрат складає .... місяця, річний економічний ефект часткового заміщення коксового дріб'язку вугіллям кам'яним складає .....грн.

Таким чином, при агломераційному процесі часткова заміна коксового дріб'язку енергетичним вугіллям марки «ДГ» знижує собівартість виробництва агломерату і дає можливість повернення коксового дріб'язку в шихту для виробництва коксу.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Карабасов Ю.В., Валавін В.С. Використання палива в агломерації : Металургія, 1976.— 263 с.
2. Карабасов Ю.В., Валавін В.С., Воропаєв У.М. Вплив гранулометричного складу палива на показники аглопроцесу: Чорна металургія, 1972. №23 с 17—19.
3. Єфименко Г.Г., Єфимов С.П., Арделян А.А. До питання про крупність агломераційного палива: Чорна Металургія, 1969. №4 с 23—26.
4. Коваленко І.В., Малиновський В.В. Основні процеси, машини та апарати хімічних виробництв: Підручник. Київ: Інрес: 2005. — 255с
5. Бочка В.В., Тараканов А.К., Сова А.В., Бойко М.М., Ягольник М.В., Двоєглазова А.В. Удосконалення технології виробництва якісного агломерату. в. 2019, № 1. с. 5-14. <https://doi.org/10.34185/tpm.1.2019.01>.
6. Zhao J., Loo C.E., Ellis B.G. Improving Energy Efficiency in Iron Ore Sintering through Segregation: a Theoretical Investigation. *ISIJ International*, 2016. Vol. 56, No. 7, pp. 1148–1156. DOI: <http://dx.doi.org/10.2355/isijinternational.ISIJINT-2015-686>.
7. Zhou M, Zhao D, Zhang J, Yang G, Hou E, Liu M, Zhang H, Jiang X, Fan K, Shen F. Research on the Quality Improvement and Consumption Reduction of Iron Ore Agglomeration Based on Optimization. *Metals*. 2023; Vol.13(3): 480. <https://doi.org/10.3390/met13030480>.
8. Шляхопровідник по витратам ПАТ «Запоріжсталь» —2024-2025р.
9. Технологічна інструкція ТІ 226-ОА-02-2025 Виробництво офлюсованого агломерату.
10. Фролов Ю.А. Агломерація. Технологія. Теплотехніка. Управління. Екологія. Металургія, 2016. — 674с.

11. Шляхопровідник з якості ПАТ «Запоріжсталь» — 2024-2025р.
12. Смирнов В.О., Білецький В.С. Проектування збагачувальних фабрик: посібник: Східний видавничий дім 2002. — 296с.
13. Смирнов В.О., Білецький В.С. Технологія збагачення корисних копалин: посібник: Східний видавничий дім. 2004. — 272с.
14. НПАОП 27.0–3.01–08 «Норми безплатної видачі спеціального одягу, спеціального взуття та інших засобів індивідуального захисту працівникам металургійної промисловості.
15. ДСТУ 4096-2002. Вугілля буре, кам'яне, антрацит, горючі сланці та вугільні брикети. Методи відбору та підготовки проб до лабораторних випробувань.
16. [Молоткова дробарка, купити молоткову дробарку бу | Machineryline Україна; RETRA: виробництво твердопаливних котлів, бункерів та транспортерів подачі палива; Стрічковий жолобчастий транспортер 500×8000 — універсальне рішення для промислового транспортування сипучих матеріалів | HYPERPRESS TECHNOLOGIES](#)
17. ДСТУ ISO 562:2015 (ISO 562:2010, IDT) Вугілля кам'яне та кокс. Визначення виходу летких речовин.
18. ДСТУ ISO 589:2015 (ISO 589:2008, IDT) Вугілля кам'яне. Визначення повної вологості.
19. ДСТУ ISO 17246:2010 (ISO 1746:2010, IDT) Вугілля. Технічний аналіз.
20. Інструкція з охорони праці №0.01-2024 для агломератника агломераційного цеху.